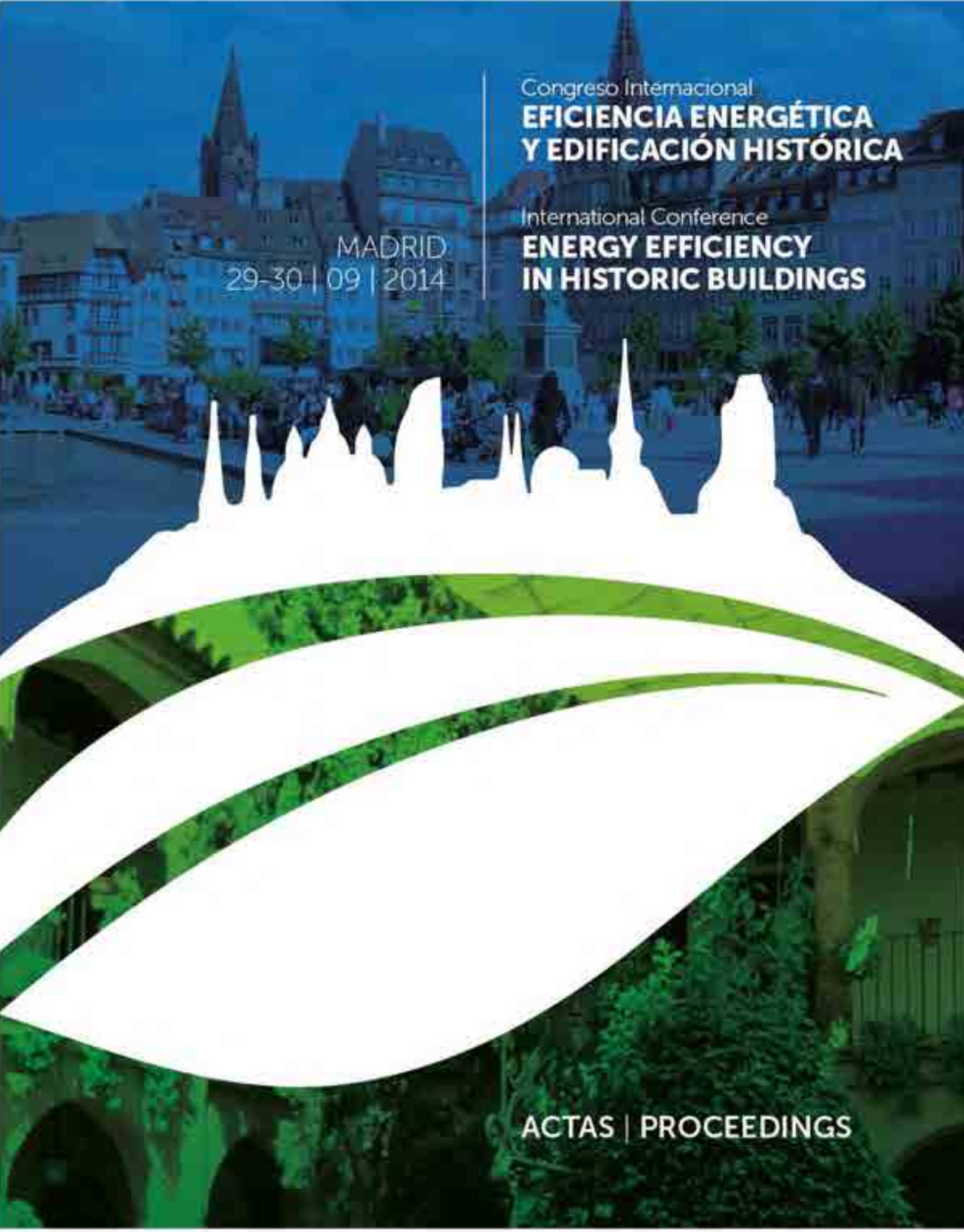

Congreso Internacional

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y EDIFICACIÓN HISTÓRICA

International Conference

ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC BUILDINGS

MADRID
29-30 | 09 | 2014

ACTAS | PROCEEDINGS

Con el apoyo / Supported by

FECYT

Organizado por/Organized by

FUNDACIÓN DE Casas Históricas y Singulares

ARSCIVILIS

Colaboran / Collaborators

PREFIERES

cetenma

Financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Economía y Competitividad

LÓPEZ, M.; YÁÑEZ, A.; GOMES DA COSTA, S.; AVELLÀ, L., (Coord.). ***Actas del Congreso Internacional de Eficiencia Energética y Edificación Histórica / Proceedings of the International Conference on Energy Efficiency and Historic Buildings (Madrid, 29-30 Sep. 2014)***. Madrid: Fundación de Casas Históricas y Singulares y Fundación Ars Civilis, 2014. ISBN: 978-84-617-3440-5

Edited by

Fundación de Casas Históricas y Singulares

Fundación Ars Civilis

Coordinated by

Mónica López Sánchez. Fundación Ars Civilis

Ana Yáñez Vega. Fundación de Casas Históricas y Singulares

Sofia Gomes da Costa. Fundación de Casas Históricas y Singulares

Lourdes Avellà Delgado. Fundación Ars Civilis

© Copyright

2014. Texts: the respective authors (or their employers); Proceedings: the coordinators and editors.

Table of contents

PRESENTACIÓN ..... **- 11 -**

Eficiencia energética y edificación histórica: un reto del presente ..... **- 13 -**
Cristina Gutiérrez-Cortines y Mónica López Sánchez. Fundación Ars Civilis

Eficiencia energética y edificación histórica: un reto del futuro ..... **- 14 -**
Ana Yáñez Vega. Fundación de Casas Históricas y Singulares

Committees ..... **- 15 -**

Programme ..... **- 16 -**

Governance, management, participation and mediation ..... ***- 21 -***

SUSTAINABLE ENERGY ACTION FOR WORLD HERITAGE MANAGEMENT ..... **- 22 -**
RONCHINI, C.; POLETTO, D.

ENERGY EFFICIENCY AND URBAN RENEWAL OF A UNESCO-LISTED HISTORICAL CENTER: THE CASE OF PORTO ..... **- 38 -**
SANTOS, Á.; VALENÇA, P.; SEQUEIRA, J.

HISTORICAL HERITAGE: FROM ENERGY CONSUMER TO ENERGY PRODUCER. THE CASE STUDY OF THE 'ALBERGO DEI POVERI' OF GENOA, ITALY ..... **- 45 -**
FRANCO, G.; GUERRINI, M.; CARTESEGNA, M.

IMPROVING ENERGY EFFICIENCY IN HISTORIC CORNISH BUILDINGS – GRANT FUNDING, MONITORING AND GUIDANCE ..... **- 61 -**
RICHARDS, A.

ENERGY EFFICIENCY AND BUILDINGS WITH HERITAGE VALUES: REFLECTION, CONFLICTS AND SOLUTIONS ..... **- 75 -**
GIANCOLA, E.; HERAS, M. R.

PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA REHABILITACIÓN SOSTENIBLE DEL PATRIMONIO CONTEXTUAL EDIFICADO. EL CASO DEL CENTRO HISTÓRICO DE LA CIUDAD DE MÉRIDA, YUCATÁN / Methodological proposal for the sustainable rehabilitation of context heritage building. The case of the historic downtown of Merida, Yucatan ..... **- 82 -**
MEDINA, K.; RODRÍGUEZ, A.; CERÓN, I.

Traditional and technological knowledge: concepts, techniques, practices, uses, materials, methodologies ..... *- 99 -*

SUSTAINABLE REFURBISHMENT OF HISTORIC BUILDINGS: RISKS, SOLUTIONS AND BEST PRACTICE ..... **- 100 -**
HEATH, N.

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y VALORES PATRIMONIALES. LECCIONES DE UNA INVESTIGACIÓN Y UN SEMINARIO / Energy efficiency and heritage values. Lessons of a Research and a Seminar ..... **- 110 -**
GONZÁLEZ MORENO-NAVARRO, J. L.

ARCHITECTURAL INTEGRATION OF PHOTOVOLTAIC SYSTEMS IN HISTORIC DISTRICTS. THE CASE STUDY OF SANTIAGO DE COMPOSTELA ..... **- 118 -**
LUCCHI, E.; GAREGNANI, G.; MATURI, L.; MOSER, D.

HISTORIC BUILDING ENERGY ASSESSMENT BY MEANS OF SIMULATION TECHNIQUES ..... **- 135 -**
SOUTULLO, S.; ENRIQUEZ, R.; FERRER, J. A.; HERAS, M. R.

DESIGN OF A CONTROL SYSTEM FOR THE ENERGY CONSUMPTION IN A WALL-HEATED CHURCH: SANTA MARIA ODIGITRIA IN ROME ..... **- 145 -**
MANFREDI, C.; FRATERNALI, D.; ALBERICI, A.

EXEMPLARY ENERGETICAL REFURBISHMENT OF THE GERMAN ACADEMY IN ROME "VILLA MASSIMO" ..... **- 160 -**
ENDRES, E.; SANTUCCI, D.

SISTEMA MÓVIL INTEGRADO PARA LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS: LÁSER 3D, TERMOGRAFÍA, FOTOGRAFÍA, SENSORES AMBIENTALES Y BIM / Integrated mobile system for building energy rehabilitation: 3D laser, termography, fotography, environmental sensors and BIM ..... **- 169 -**
SÁNCHEZ VILLANUEVA, C.; FILGUEIRA LAGO, A.; ROCA BERNÁRDEZ, D.; ARMESTO GONZÁLEZ, J.; DÍAZ VILARIÑO, L.; LAGÜELA LÓPEZ, S.; RODRÍGUEZ VIJANDA, M.; NÚÑEZ SUÁREZ, J.; MARTÍNEZ GÓMEZ, R.

CONSECUENCIAS CONSTRUCTIVAS Y ENERGÉTICAS DE UNA MALA PRÁCTICA. ARQUITECTURAS DESOLLADAS / Energy and constructive consequences of a bad practice. Skinned architectures ..... **- 186 -**
DE LUXÁN GARCÍA DE DIEGO, M.; GÓMEZ MUÑOZ, G.; BARBERO BARRERA, M.; ROMÁN LÓPEZ, E.

EL BIENESTAR TÉRMICO MÁS ALLÁ DE LAS EXIGENCIAS NORMATIVAS. DOS CASOS. DOS ENFOQUES / Thermal comfort beyond legislation. Two examples. Two approaches ..... **- 201 -**
DOTOR, A.; ONECHA, B.; GONZÁLEZ, J. L.

LA MONITORIZACIÓN Y SIMULACIÓN HIGROTÉRMICA COMO HERRAMIENTA PARA LA MEJORA DEL CONFORT, PRESERVACIÓN Y AHORRO ENERGÉTICO DE ESPACIOS PATRIMONIALES. EL CASO DE LA IGLESIA DE SAN FRANCISCO DE ASIS, MORÓN DE LA FRONTERA / Measurement and hygrothermal simulation model, a tool to enhance thermal comfort, preservation and saving energy of heritage site. Case study: the church of San Francisco of Asís in Morón de la Frontera ..... **- 210 -**
MUÑOZ, C.; LEÓN, A.; NAVARRO, J.

TERESE^3: HERRAMIENTA INFORMÁTICA PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA MEDIANTE LA SIMULACIÓN CALIBRADA DE EDIFICIOS / TERESE^3: informatic tool for the energetic efficiency through the calibrated simulation of buildings ..... - 226 -
GRANADA, E.; EGUÍA, P.; MARTÍNEZ, R.; NÚÑEZ, J.; RODRÍGUEZ, M.

EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ANÁLISIS TÉRMICO PARA SISTEMAS DE AIRE CENTRALIZADO: UN CASO DE ESTUDIO / Energy Efficiency and thermal analysis for centralized air heating systems: a case study ..... - 238 -
MARTÍNEZ-GARRIDO, M. I.; GOMEZ-HERAS, M.; FORT, R.; VARAS-MURIEL, M. J.

ANALISIS ENERGETICO DEL MUSEO DE HISTORIA DE VALENCIA MEDIANTE DISTINTAS HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN / Energy assessment of the History Museum of Valencia using various simulation tools ..... - 249 -
TORT-AUSINA, I.; VIVANCOS, J.L.; MARTÍNEZ-MOLINA, A.; MENDOZA, C. M.

APROVECHAMIENTO SOLAR PASIVO EN LA RETÍCULA URBANA DE LA CIUDAD HISTÓRICA. EL CASO DE CÁDIZ / Passive solar gains in the urban grid of the historic city. The case study of Cadiz ..... - 257 -
SÁNCHEZ-MONTAÑÉS, B.; RUBIO-BELLIDO, C.; PULIDO-ARCAS, J. A.

TECHNICAL SYSTEM HISTORY AND HERITAGE: A CASE STUDY OF A THERMAL POWER STATION IN ITALY ..... - 275 -
PRETELLI, M.; FABBRI, K.

ANALISIS ENERGÉTICO Y PROPUESTAS DE MEJORA DE UNA CASA EN REQUENA MEDIANTE PROGRAMAS DE SIMULACIÓN / Energy analysis and improvement proposal of a house in Requena (Spain) using simulation software ..... - 281 -
TORT-AUSINA, I.; VIVANCOS, J.L.; MARTÍNEZ-MOLINA, A.; MENDOZA, C. M.

UNA REVISIÓN DE PUBLICACIONES EN EDIFICIOS DESDE EL ASPECTO ENERGÉTICO / A review of papers in buildings from the energetic perspective ..... - 292 -
TORT-AUSINA, I.; MARTÍNEZ-MOLINA, A.; VIVANCOS, J.L.

MORTEROS MIXTOS DE CAL Y CEMENTO CON CARACTERÍSTICAS TÉRMICAS Y ACÚSTICAS MEJORADAS PARA REHABILITACIÓN / Lime-cement mixture with improved thermal and acoustic characteristics for rehabilitation ..... - 303 -
PALOMAR, I.; BARLUENGA, G.; PUENTES, J.

NEAR ZERO ENERGY HISTORIC BUILDING. TOOLS AND CRITERIA FOR ECOCOMPATIBLE AND ECOEFFICIENT CONSERVATION ..... - 318 -
BAIANI, S.

INTEGRANDO RENOVABLES EN LA CIUDAD HEREDADA: GEOTERMIA URBANA / Integrating renewable in the inherited city: urban geothermal ..... - 329 -
SACRISTÁN DE MIGUEL, M. J.

ANÁLISIS Y PROPUESTAS DE MEJORA DE LA EFICIENCIA ENERGÉTICA DE UN EDIFICIO HISTÓRICO DE CARTAGENA: ANTIGUO PALACIO DEL MARQUÉS DE CASA-TILLY / Analysis and proposals for improving the energy efficiency of a historical building in Cartagena: the former Palace of the Marquis of Casa-Tilly ..... - 344 -
COLLADO ESPEJO, P. E.; MAESTRE DE SAN JUAN ESCOLAR, C.

REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS BAJO EL PLAN ESPECIAL DE PROTECCIÓN DEL PATRIMONIO URBANÍSTICO CONSTRUIDO EN DONOSTIA-SAN SEBASTIÁN / Building energy retrofit of dwellings under the special plan of urban built heritage protection in Donostia-San Sebastian ..... - 357 -

MARTÍN, A.; MILLÁN, J. A.; HIDALGO, J. M.; IRIBAR, E.

IS *TEMPERIERUNG* ENERGY EFFICIENT? THE APPLICATION OF AN OLD-NEW HEATING SYSTEM TO HERITAGE BUILDINGS ..... - 366 -
DEL CURTO, D.; LUCIANI, A.; MANFREDI, C.; VALISI, L.

TERMOGRAFÍA INFRARROJA Y EDIFICIOS HISTÓRICOS..... - 380 -
MELGOSA, S.

SIMULATION MODEL CALIBRATION IN THE CONTEXT OF REAL USE HISTORIC BUILDINGS..... - 388 -
ENRÍQUEZ, R.; JIMÉNEZ, M.J.; HERAS, M.R.

THE THERMOPHYSICAL CHARACTERIZATION OF TECHNICAL ELEMENTS IN THE HISTORIC ARCHITECTURE: EXPERIENCES IN PALERMO..... - 397 -
GENOVA, E.; FATTA, G.

ENERGY EVALUATION OF THE HVAC SYSTEM BASED ON SOLAR ENERGY AND BIOMASS OF THE CEDER RENOVATED BUILDING..... - 407 -
DÍAZ ANGULO, J. A.; FERRER, J. A.; HERAS, M. H.

Legal and technical regulation and historic buildings ..... - 419 -

OLD BUILDING, NEW BOILERS: THE FUTURE OF HERITAGE IN AN ERA OF ENERGY EFFICIENCY ..... - 420 -
JANS, E.; ICOMOS, M.; KOPIEVSKY, S.; AIRHA, M.

HISTORIC WINDOWS: CONSERVATION OR REPLACEMENT. WHAT'S THE MOST SUSTAINABLE INTERVENTION? LEGISLATIVE SITUATION, CASE STUDIES AND CURRENT RESEARCHES ..... - 432 -
PRACCHI, V.; RAT, N.; VERZEROLI, A.

ENERGY RETROFIT OF A HISTORIC BUILDING IN A UNESCO WORLD HERITAGE SITE: AN INTEGRATED COST OPTIMALITY AND ENVIRONMENTAL ASSESSMENT..... - 450 -
TADEU, S.; RODRIGUES, C.; TADEU, A.; FREIRE, F.; SIMÕES, N.

PARQUE EDIFICADO O PATRIMONIO EDIFICADO: LA PROTECCIÓN FRENTE A LA INTERVENCIÓN ENERGÉTICA. EL CASO DEL BARRIO DE GROS DE SAN SEBASTIÁN / Built Park or Built Heritage: Protection against energy intervention. The case of Gros district of San Sebastian ..... - 464 -
URANGA, E. J.; ETXEPARE, L.

SIMULTANEOUS HERITAGE COMFORT INDEX (SHCI): QUICK SCAN AIMED AT THE SIMULTANEOUS INDOOR ENVIRONMENTAL COMFORT EVALUATION FOR PEOPLE AND ARTWORKS IN HERITAGE BUILDINGS..... - 478 -
LITTI, G.; FABBRI, K.; AUDENAERT, A.; BRAET, J.

PROBLEMÁTICA DE LA POSIBLE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE^{3}X DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO: EL CASO DEL ALMUDÍN DE VALENCIA / Difficulties found in the possible energy certification of heritage by using the CE^{3}X software: the case of El Almudín of Valencia ..... - 495 -
CUARTERO-CASAS, E.; TORT-AUSINA, I.; MONFORT-I-SIGNES, J.; OLIVER-FAUBEL, E. I.

PROTOCOL FOR CHARACTERIZING AND OPTIMIZING THE ENERGY CONSUMPTION IN PUBLIC BUILDINGS: CASE STUDY OF POZUELO DE ALARCÓN MUNICIPALITY ..... - 506 -
RUBIO, A.; MACÍAS, M.; LUMBRERAS, J.

Promotion, training, education ..... *- 513 -*

THE WORK OF THE SUSTAINABLE TRADITIONAL BUILDINGS ALLIANCE AND AN INTRODUCTION TO THE GUIDANCE WHEEL FOR RETROFIT ..... **- 514 -**
MAY, N.; RYE, C.; GRIFFITHS, N.

TRAINING OF EXPERTS FOR ENERGY RETROFIT AT THE FRAUNHOFER CENTRE FOR THE ENERGY-SAVING RENOVATION OF OLD BUILDINGS AND THE PRESERVATION OF MONUMENTS AT BENEDIKTBEUERN ..... **- 528 -**
KILIAN, R.; KRUS, M.

SPECIALIZED ENERGY CONSULTANTS FOR ARCHITECTURAL HERITAGE ..... **- 535 -**
DE BOUW, M.; DUBOIS, S.; HERINCKX, S.; VANHELLEMONT, Y.

RENERPATH: METODOLOGÍA DE REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS PATRIMONIALES / RENERPATH: Methodology for Energy Rehabilitation of Heritage Buildings ..... **- 543 -**
PERÁN, J. R. ; MARTÍN LERONES, P.; BUJEDO, L. A.; OLMEDO, D.; SAMANIEGO, J.; GAUBO, F.; FRECHOSO, F.; ZALAMA, E.; GÓMEZ-GARCÍA BERMEJO, J.; MARTÍN, D.; FRANCISCO, V.; CUNHA, F.; BAIO, A.; XAVIER, G.; DOMÍNGUEZ, P.; GETINO, R.; SÁNCHEZ, J. C.; PASTOR, E.

LEVANTAMIENTOS ARQUITECTÓNICOS EN EL MEDIO RURAL / Architectural surveys in rural areas ..... **- 553 -**
HIDALGO, J.M.; MILLÁN, J. A.; MARTÍN, A.; IRIBAR, E.; FLORES, I.; ZUBILLAGA, I.

AUTHORS INDEX ..... *- 567 -*

PROBLEMÁTICA DE LA POSIBLE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA CON CE^{3}X DEL PATRIMONIO ARQUITECTÓNICO: EL CASO DEL ALMUDÍN DE VALENCIA / Difficulties found in the possible energy certification of heritage by using the CE^{3}X software: the case of El Almudín of Valencia

CUARTERO-CASAS, E.; TORT-AUSINA, I.; MONFORT-I-SIGNES, J.; OLIVER-FAUBEL, E. I.

CUARTERO-CASAS, E.: E.T.S. Ingeniería de Edificación. Universitat Politècnica de València. València - España. escuaca@edificacion.upv.es
TORT-AUSINA, I.: Dpto. Física Aplicada, ETS Ingeniería de Edificación, Universitat Politècnica de València. València – España. isatort@fis.upv.es
MONFORT-I-SIGNES, J.: Dep. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. València - España. jaumemonfort@csa.upv.es
OLIVER-FAUBEL, E. I.: Dep. Construcciones Arquitectónicas. Universitat Politècnica de València. València - España. inolfau@csa.upv.es

RESUMEN

Para fomentar los objetivos del Protocolo de Kioto, la Unión Europea adoptó en 2007 el Compromiso 20/20/20 para reducir las emisiones de CO2. Se persigue, con meta el año 2020, reducir un 20% los gases de efecto invernadero, aumentar un 20% el consumo de energías renovables y mejorar en un 20% la eficiencia energética. En este contexto, transponiendo una directiva europea, el estado español aprueba el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril que establece el procedimiento para la certificación energética de edificios. Este RD supone la incorporación de los edificios existentes al proceso de certificación energética y la necesidad de establecer recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos de su eficiencia. Asimismo, establece que los nuevos edificios, o reformas importantes de los mismos según define el Código Técnico de la Edificación, construidos a partir del año 2020, o 2018 si son de titularidad pública, deberán ser de "consumo de energía casi nulo".

A pesar de que dicho RD excluye de la obligatoriedad de certificarse a edificios o monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, no podemos dejar de lado el compromiso de ejemplaridad que las instituciones públicas, por lo general titulares de este patrimonio, deben adoptar frente a la ciudadanía. Por ello, el presente trabajo tiene como objetivo el estudio de la eficiencia energética de edificios del patrimonio arquitectónico que, en función de sus características, presentan soluciones distintas a los casos que pueden emerger con normalidad y particularmente en el caso de edificios históricos que actualmente albergan otros usos, generalmente socio-culturales. El estudio se ha particularizado en el edificio del Almudín de Valencia. Esta construcción del año 1270, utilizada originalmente para el almacenamiento y venta de trigo, fue declarado monumento histórico-artístico en 1969 y conforma actualmente una sala municipal de exposiciones temporales.

En esta contribución quedan definidos los principales inconvenientes que el método simplificado de certificación energética, utilizando la aplicación informática CE^{3}X -documento reconocido por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo como procedimiento básico de certificación-, plantea en un edificio del patrimonio arquitectónico. Del mismo modo se proponen soluciones para realizar o fomentar sistemas de mejora que podrán utilizarse en otros edificios de similares características. Se trata de establecer herramientas para facilitar que los edificios del patrimonio arquitectónico, a priori excluidos de la supervisión energética, colaboren en la reducción de las emisiones de CO2.

Palabras clave: certificación energética, transmitancia, patrimonio, CE3X

ABSTRACT

To promote the aims of the Kyoto Protocol, the European Union adopted in 2007 the Commitment 20/20/20 to reduce the CO2 emissions which goes after the reduction of 20 % of the greenhouse gases, the increase of 20 % in the consumption of renewable energies and the improvement of 20 % in the energy efficiency. In this context, transposing a European Directive, the Spanish government approved the regulation (Real Decreto 235/2013) of April 5 that establishes the procedure for the energetic certification of buildings. This regulation implies the incorporation of the existing buildings to the process of energy certification and the need of recommendations to improve the optimum levels of efficiency. Moreover, it lays down that the new buidings, or their important refurbishments as defined in the Spanish regulation (Código Técnico de la Edificación), built after 2020, or 2018 if they are public proprieties, should be "near zero energy buildings".

Despite the fact that this Spanish regulation excludes of the obligatory to be certified the buildings or monuments protected officially for being a part of a declared environment or due to their particular architectural or historical value, we cannot forget the commitment of exemplarity that the public institutions, in general owners of this heritage, must adopt facing the citizenship. This is why the present work has the aim to study the building energy efficiency of the architectural heritage that, depending on its characteristics, presents different solutions from the cases that can emerge commonly, and particularly in the case of historical buildings that nowadays have other uses, generally sociocultural ones.

The study has been developed in the building called El Almudín of Valencia. This construction of the year 1270, used originally for the storage and sale of wheat, was declared historical - artistic monument in 1969 and nowadays it is a municipal room of temporary exhibitions.

In this contribution the main disadvantages that the method simplified of energetic certification, using the software CE^{3}X - document recognized by the Minister of Industry, Energy and Tourism as the basic procedure of certification-, raises in a building of the architectural heritage are defined. Moreover, solutions to realize or to promote systems of improvement that will be able to be in used in other buildings of similar characteristics are proposed. The question is to establish tools to facilitate that the buildings of the architectural heritage, a priori excluded from the energetic supervision, collaborate in the reduction of the CO2 emissions.

Key words: energy certification, U-value, heritage, CE3X software

1. INTRODUCCIÓN

Con el fin de fomentar los objetivos establecidos en el Protocolo de Kioto y los compromisos derivados del mismo, la Unión Europea adoptó en marzo de 2007 el Compromiso 20/20/20 con el propósito de reducir las emisiones de CO2. Se persigue, con meta el año 2020, reducir un 20% los gases de efecto invernadero, aumentar en un 20% el consumo de las energías renovables y mejorar en un 20% la eficiencia energética. En este contexto, como transposición de una directiva europea, el estado español aprueba el Real Decreto 235/2013 de 5 de abril que establece el procedimiento básico para la certificación energética de los edificios [1]. Este Real Decreto supone la incorporación de los edificios existentes al proceso de certificación energética y la necesidad de establecer recomendaciones para la mejora de los niveles óptimos o rentables de la eficiencia de estos edificios. Así mismo en su articulado se establece que los nuevos edificios, o reformas importantes de los mismos según define el Código Técnico de la Edificación (CTE) [2], construidos a partir del año 2020, o 2018 si son de titularidad pública, deberán ser de "consumo de energía casi nulo".

A pesar de que el Real Decreto 235/2013 excluye de la obligatoriedad de certificarse a aquellos edificios o monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico, no podemos dejar de lado el compromiso de ejemplaridad que las instituciones públicas, por lo general titulares de este patrimonio, deben adoptar frente a la ciudadanía. Por este motivo, el presente trabajo ha tenido como objetivo el estudio de la eficiencia energética enfocado a aquellos edificios del patrimonio arquitectónico que, en función de sus características o propiedades, presentan soluciones previas distintas a los casos que pueden emerger con normalidad y particularmente en el caso de edificios históricos que actualmente albergan otros usos, generalmente socio-culturales.

2. EL EDIFICIO

El estudio se ha particularizado en el edificio del Almudín de la ciudad de Valencia. Esta construcción data del año 1270, utilizada originalmente para el almacenamiento y venta de trigo, y fue declarado monumento histórico-artístico en 1969 [3] y conforma actualmente una sala municipal de exposiciones temporales.

2.1. Breve reseña histórica

El Almudín es un edificio que presenta una gran complejidad interpretativa. Las dificultades surgen porque bajo una aparente unidad formal se esconde un edificio que ha contado con una larga historia de ampliaciones, reformas y reparaciones.

En cuanto a su historia, cabe destacar que el edificio se ubica actualmente en un emplazamiento diferente al de su construcción original, puesto que es trasladado entre 1261 y 1270 desde la zona de las carnicerías mayores, actual plaza redonda, hasta el lugar que lo encontramos hoy, en la calle Almudín. Para su construcción se utilizó parte de la muralla del alcázar islámico.

A principios del S. XIV el esquema arquitectónico que presentaba el edificio era un patio central descubierto rodeado de pórticos con arquerías. Su superficie sería bastante reducida, y durante este siglo y en el siguiente se compraron casas colindantes con objeto de ampliar el edificio. Es durante el S. XV cuando se le da un carácter unitario a la planta del edificio.

En la primera mitad del S. XVI se construye el pórtico que recae a la plaza de S. Luís Bertrán y la gran portada de la calle Almudín. Es en ese momento cuando el edificio adquiere el perímetro con que lo conocemos actualmente. En los años 1571 y 1577 se pavimenta con losas el edificio, y a finales de este siglo principios del S. XVII el Almudín es cubierto en su totalidad. A partir de esta fecha se abrirán ventanales en sus muros con objeto de dotar al edificio de iluminación y ventilación.

En el Almudín se realizaban las siguientes funciones: venta de trigo, regulación de los precios de los cereales, préstamo de semillas a los agricultores, crédito a los campesinos necesitados o a los hombres de negocios, fondo de operaciones para finanzas municipales, adelanto para el pago de impuestos reales, reserva eventual para el aprovisionamiento de los ejércitos etc.

El edificio fue objeto de una rehabilitación integral en el periodo comprendido entre 1992-96 [4], priorizando los campos de actuación en la envolvente del edificio y renovación de la cubierta. Dado el mal estado en el que se encontraba la cubierta (con riesgo de desplome), se optó por la sustitución de esta, ejecutada con la misma tipología constructiva a la anterior. En cuanto a la envolvente se reforzó las zonas más deterioradas, empleando materiales adecuados a modo de conservar las características propias de la misma.

2.2. Fábricas y tipos de muros

Son cuatro los tipos de fábricas que se utilizaron para levantar los muros del Almudín. El primero de ellos se encuentra en los lugares de absorción de empujes -en esquinas y portadas- y se trata de cantería, formada por sillares de piedra caliza de distinto tamaño y en algunos casos reutilizados de otros edificios.

Los otros tres tipos desempeñan un papel de materialización masiva de los muros. El más abundante es el conocido como tapia valenciana o tapia real. Esta tapia se compone por tierra con gravas y cal apisonada a partir de un moldeado entre tablas provistas de pasadores para su entibación, ejecutado por tongadas y trabado con hiladas de ladrillos a tizón, con una gruesa junta entre ellos, que en los límites de comienzo y final del paño quedan trabados con las esquinas de cantería por medio de los mismos ladrillos colocados a soga. Tras el apisonado y fraguado, el desmolde produce un efecto textural al rebosar la argamasa sobre los ladrillos. Se trata de un tipo de fábrica empleado desde la antigüedad y habitual en la ciudad de Valencia desde la época islámica. La tapia de tierra y la fábrica de ladrillo componen los restantes tipos de fábricas utilizados en los muros del Almudín.

3. PROPIEDADES TÉRMICAS DE LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO

La envolvente térmica del edificio está constituida por cuatro fachadas con sus respectivos huecos, el suelo en contacto con el terreno, la cubierta y los puentes térmicos que se producen en los encuentros de los diferentes elementos constructivos. Debido a los distintos tipos de técnicas constructivas utilizadas en la envolvente térmica, se ha optado por dividir la superficie de la envolvente del edificio en función del material empleado, conforme a la tabla 1. A los cuatro tipos de fábricas identificados en el apartado anterior se le suma el acceso actual al edificio compuesto por perfilería metálica y vidrio (fachada ligera).

Tabla 1: Superficies de tipología de fábricas en función de la orientación de la fachada

	TAPIA VALENCIANA O REAL	TAPIA DE TIERRA	FABRICA LADRILLO MACIZO	CANTERIA SILLARES DE CALIZA	FACHADA LIGERA
Fachada NORTE	391,97 m^2	24,55 m^2	-	25,41 m^2	-
Fachada SUR	298,17 m^2	54,72 m^2	24,71 m^2	68,42 m^2	-
Fachada ESTE	85,83 m^2	-	-	25,67 m^2	75,90 m^2
Fachada OESTE	211,67 m^2	-	-	5,63 m^2	-

A la hora de introducir los valores de transmitancia de los elementos que componen la envolvente térmica, la aplicación informática CE^3X, habilitada por el Ministerio de Industria, Energía y turismo (MINETUR), nos permite tres opciones (por defecto, estimadas o conocidas) [5]. Las opciones por defecto o estimadas aproximan unos valores de transmitancia a partir de características de ubicación y antigüedad de los distintos cerramientos (por comparación con edificaciones similares que contiene su base de datos). En el caso de edificios históricos la base de datos del programa se presenta insuficiente, aportando datos de trasmitancia poco ajustados a la realidad de los paramentos de la construcción, por lo que resulta necesario calcular estas transmitancias térmicas de los cerramientos en contacto con el aire exterior, tales como: muros de fachada, cubiertas y suelos en contacto con el terreno.

El objetivo de este cálculo será evitar descompensaciones entre la calidad térmica de los diferentes espacios. Una vez obtenido este valor de transmitancia será introducido en el programa como dato conocido. El resultado será obtener valores de transmitancia mas certeros y por tanto ajustados a la realidad. De la misma forma se calcularán los puentes térmicos

integrados en los citados cerramientos cuya superficie sea superior a 0,5 m^2, despreciándose en este caso los efectos multidimensionales del flujo de calor. Para todos estos espacios el sentido de flujo de calor viene reflejado en la tabla 1 del DB-HE-1 [6]. y el valor de la transmitancia U viene dado por la expresión de la ecuación 1.

Ecuación 1: Transmitancia térmica

$$U = \frac{1}{Rt}$$

Donde:

U = transmitancia térmica (W/m^2K)

Rt = Resistencia Térmica total del componente constructivo (m^2K/W)

Siendo:

$R_t = Rsi+R_1+R_2+...+R_n+R_{se}$

La solución estructural de la cubierta se resuelve de dos formas diferentes. Mediante cubierta a un agua con parecillos en las naves laterales. Mientras que en la nave central será cubierta a dos aguas mediante par e hilera. En cuanto a los materiales utilizados para ambas cubiertas, se emplean cerchas y correas de madera laminada encolada con uniones dentadas, tirantes y mecanismos de apoyo y conexión de acero inoxidable, apoyadas sobre un perfil metálico que actúa como durmiente, sobre las que se apoyan los tableros de bardos cerámicos machihembrados, una capa de hormigón con arlita y malla electrosoldada, placa impermeable y aislante tipo Onduline y como material de cobertura teja cerámica árabe.

En cuanto a los cerramientos en contacto con el terreno, el programa nos permite definir varios elementos como cubiertas, muros y suelos donde la normativa diferencia una serie de casuísticas y parámetros para su cálculo. En nuestro caso, el edificio no dispone de cubiertas enterradas, ni muros enterrados o semienterrados, excepto el suelo en contacto con el terreno. La solera se encuentra apoyada sobre el nivel del terreno a una altura menor a 0,50 m, por lo que el valor de la transmitancia térmica U (W/m^2K) se obtiene de la interpolación en la tabla 3 del DB-HE-1.

Por último, calculamos la transmitancia térmica de los diferentes elementos que forman parte del edificio, referidos a los huecos o lucernarios existentes en la envolvente térmica, teniendo en cuenta el factor solar. En nuestro caso, la carpinterías son metálicas de pletina calibrada de 60x12 mm, sin rotura de puente térmico, de color oscuro y con un acristalamiento de vidrio tipo Stadip 4+4 mm. Para el cálculo de la puerta de madera de la fachada Sur, lo realizamos como si fuese un cerramiento en contacto con el aire exterior según la tabla 1 del DB-HE-1.

En el cálculo de la opción simplificada, debe verificarse el cumplimiento del factor solar de huecos, entendiendo como tal la cantidad de energía que atraviesa un cerramiento al recibir este la radiación solar sobre la superficie del hueco.

A continuación se muestran los valores de transmitancia obtenidos para los cerramientos exteriores (tabla 2.1), cubiertas (tabla 2.2), solera (tabla 2.3) y huecos (tablas 2.4 y 2.5). Para obtener estos valores se han utilizado (o aproximado por asimilación) los datos de conductividad térmica marcados por el Catalogo de Elementos Constructivos del CTE [7].

Tabla 2.1: Cálculo de las transmitancias (W/m^2K) de los cerramientos exteriores

	TAPIA VALENCIANA O REAL			
FACHADAS	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Tapia Valenciana	0,70	0,61	1,15
	Resistencia aire interior			0,13
	d=1411,9Kg/m2 R = 1,32			**U = 0,76**

	TAPIA DE TIERRA CON ARGAMASA DE GRAVAS Y MAMPOSTERIA			
FACHADAS	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Tapia de Tierra	0,70	0,56	1,25
	Resistencia aire interior			0,13
	d=1470Kg/m2 R = 1,42			**U = 0,71**

	FABRICA DE LADRILLO MACIZO			
FACHADAS	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Tapia Ladrillo macizo	0,50	0,658	0,76
	Resistencia aire interior			0,13
	d=850 Kg/m2 R = 0,93			**U = 1,07**

	SILLARES DE PIEDRA CALIZA			
FACHADAS	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Tapia Sillares de Caliza	0,70	1,50	0,46
	Resistencia aire interior			0,13
	d=1345 Kg/m2 R = 0,64			**U = 1,57**

	FACHADA LIGERA			
FACHADAS	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Fachada Ligera	0,01	1,05	1,15
	Resistencia aire interior			0,13
	d=75 Kg/m2 R = 0,187			**U = 5,6**

Tabla 2.2: Cálculo de la transmitancia (W/m^2K) de las cubiertas

	CUBIERTA NAVE CENTRAL			
CUBIERTA	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Teja árabe	0,03	0,42	0,071
	Placa Tipo Onduline BT-235	0,0025	0,04	0,0625
	Hormigón con arlita	0,008	0,32	0,25
	Tablero cerámico de bardo	0,035	0,29	0,12
	Correa de madera			0,68(1)
	Resistencia aire interior			0,10
	d=180,75Kg/m2 R = 1,32			**U = 0,76**

	CUBIERTA NAVE LATERAL			
CUBIERTA	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Teja árabe	0,03	0,42	0,071
	Placa Tipo Onduline BT-235	0,0025	0,04	0,0625
	Hormigón con arlita	0,008	0,32	0,25
	Tablero cerámico de bardo	0,035	0,29	0,12
	Correa de madera			0,45(1)
	Resistencia aire interior			0,10
	d=163,75Kg/m2 R = 1,09			**U = 0,91**

(1) Dato obtenido en función del espesor de la madera y porcentaje del volumen ocupado.

Tabla 2.3: Cálculo de la transmitancia (W/m^2K) de la solera

	SUELO			
SOLERA	COMPONENTES	ESPESOR (m)	λ (W/mK)	R (m^2K/W)
	Baldosa de piedra 80x60x4cm	0,04	1,40	0,028
	Mortero de agarre	0,03	0,04	0,75
	Solera de hormigón	0,20	1,40	0,14
	Hormigón de limpieza	0,10	1,72	0,058
	Lámina impermeabilizante	0,001	0,03	0,33
	Zahorra atificial compactada	0,25	1,30	0,19
	Tabla 3 (interpolación)	R_a = 0,00		
	B´= 12	U_s = 0,44		

Tabla 2.4: Cálculo de la transmitancia (W/m^{2}K) de los huecos de ventanas

VENTANAS							
REF	m² Hueco	m² Vidrio	m² Marco	FM		PARTE SEMITRANSPARENTE	$U_{H,V}$ = 5,60
V1	3,67	2,86	0,81	0,22		Vidrio incoloro 4+4 mm	
V2	0,84	0,66	0,18	0,21		PARTE OPACA	$U_{H,m}$ = 5,70
V3	4,80	3,97	0,83	0,17		Carpintería metálica sin RPT	
V4	84,61	73,62	11,0	0,13		FM (mayor)	0,22
U = (1-FM)·UH,v + FM·UH,m						**U = 5,62**	
FACTOR SOLAR F = Fs [(1- FM) + g⊥+FM·0.04·UH,m·α]						**F = 0,65**	

Tabla 2.5: Cálculo de la transmitancia de los huecos de puertas

	PUERTA DE MADERA MACIZA			
PUERTAS	COMPONENTES	ESPESOR (m	λ (W/mK)	R (m2K/W)
	Resistencia aire exterior			0,04
	Puerta de madera maciza	0,10	0,15	0,66
	Resistencia aire interior			0,13
	R = 0,84			**U = 1,19**

3. RESULTADOS

Para obtener los resultados, una vez definida la envolvente del edificio, es necesario introducir previamente en la aplicación informática las características y rendimientos de las instalaciones térmicas, en nuestro caso el equipo de climatización. Actualmente la edificación cuenta con un sistema de calefacción y refrigeración que sustituye al original (instalado en la reforma finalizada el año 1996), este equipo data del año 2007 y se compone de dos módulos de aire acondicionado dinámico con *free-cooling* directo e indirecto de refrigeración líquida con una carga de calor de más de 20 kW, hasta un 60% más eficientes que los sistemas de refrigeración con compresor convencional (según casa comercial del equipo [8]).

Por diversos motivos, no se ha podido verificar con exactitud los valores de los rendimientos medios estacionales de los equipos instalados, tanto de calefacción como de refrigeración, por lo que se ha optado por realizar la certificación energética aplicando un método estadístico. Para ellos se obtienen distintas calificaciones que resultan de introducir valores de rendimientos de los equipos en función de su antigüedad. Se establecen tres periodos de referencia y posteriormente se obtienen resultados para cada uno de ellos que nos permitirán poseer información para nuestro análisis:

- Equipos anteriores al año 2000; los rendimientos de los equipos comprendidos en este periodo se encuentran en torno a 150-200% (según estudio de distintas fichas técnicas), por lo que se estipula un valor medio de 180%.
- Equipos comprendidos entre 2000-2007; según datos obtenidos de la ficha técnica de los equipos utilizados en nuestro edificio, podemos deducir que el rendimiento de los equipos son del 250%.

- Equipos posteriores a 2007; con el desarrollo de nuevas tecnologías para la fabricación de equipos más eficientes, se obtienen rendimientos muy elevados. Así podemos disponer en el mercado rendimientos superiores a 4 e incluso a alcanzado valores próximos a 5, por lo que consideraremos un valor del 400%.

Establecidos los tres periodos de referencia obtenemos los resultados utilizando el procedimiento de cálculo de la aplicación informática CE^{3}X. De este modo la calificación obtenida con equipos de rendimiento del 180% (equipos anteriores al año 2000), sería D, con unas emisiones de 50,5 Kg de CO2 por metro cuadrado de superficie y año. Como se observa en los resultados de la calificación de la Figura 1, podemos deducir que al disponer de equipos de bajo rendimiento, las emisiones de las instalaciones tanto de calefacción como de refrigeración son elevadas, con una demanda de calefacción de 73,02 kWh/m2 y de 12,0 kWh/m2 constante en todos los supuestos puesto que los condicionantes de la envolvente no varía.

Figura 1: Captura de pantalla de la aplicación informática CE^{3}X con resultados de la calificación energética con equipos de rendimiento del 180%

Figura 2: Captura de pantalla de la aplicación informática CE^{3}X con resultados de la calificación energética con equipos de rendimiento del 250%

La calificación obtenida con equipos de rendimientos del 250% sería C, con unas emisiones de 37,6 Kg de CO2 por metro cuadrado y año (figura 2). La relación de los rendimientos de los

equipos es inversamente proporcional con las emisiones de éstos, luego a mayor rendimiento de las instalaciones, menores emisiones, como era de esperar.

Finalmente la calificación obtenida con equipos de rendimiento del 400% sería B, con unas emisiones de 27,6 Kg de CO2 por cada metro cuadrado y año (figura 3). Con equipos de alto rendimiento como los que nos ofrece el mercado en la actualidad, podemos afirmar que nos acercamos a las exigencias de las Directivas Europeas, destinadas a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo, con un descenso notable de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Figura 3: Captura de pantalla de la aplicación informática CE^{3}X con resultados de la calificación energética con equipos de rendimiento del 400%

4. CONCLUSIONES

Respecto del procedimiento empleado para obtener la certificación, cabría destacar, en primer lugar, que las principales dificultades encontradas radican en la caracterización de la envolvente, dadas las particularidades de los sistemas constructivos del patrimonio, que han hecho que no se pudieran seleccionar directamente cerramientos (o materiales) de las bases de datos que incorpora el software, sino que se han tenido que definir ad hoc.

En cuanto a la calificación obtenida, ésta ha sido buena, mostrando el buen comportamiento energético del edificio, y por lo tanto las buenas propiedades desde el punto de vista de aislamiento e inercia térmica del tapial.

Una vez realizada la certificación, el estudio de las posibilidades desde el punto de vista de las mejoras se encuentra muy limitado por el hecho de tratarse de un edificio patrimonial, en el que no resulta factible alterar ninguno de los elementos de fachada y cubierta. Por ello, se ha optado por probar mejoras en las instalaciones de climatización, observándose, por un lado, la gran influencia que las instalaciones tienen en la calificación energética y, por otro lado, que renovando las instalaciones de estos edificios por sistemas más actuales (de elevado rendimiento) se pueden llegar a conseguir edificios de bajas emisiones de CO2, acercándonos al consumo casi cero.

Cabe destacar también los beneficios del empleo de software que permite estudiar, proponer y ensayar estrategias energéticas para así llegar a optimizar las actuaciones y poder ofrecer las mejores soluciones.

Por último, este estudio es un inicio de una línea de trabajo, en la que se pretende ampliar el número de casos de estudio, para poder comparar tanto los comportamientos energéticos como las posibles vías de intervención para la mejora de la eficiencia energética en edificios patrimoniales.

5. REFERENCIAS

[1]. ESPAÑA. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE núm. 89 de 13 de abril de 2013, pág. 27.548

[2]. ESPAÑA. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. BOE núm. 74 de 28 de Marzo de 2006, pág. 11.816

[3]. ESPAÑA. Decreto 520/1969, de 13 de marzo, por el que se declara Monumento Histórico Artístico el edificio del Antiguo Almudín de Valencia. BOE núm. 78 de 1 de abril de 1969, pág. 4.760

[4]. Llopis, A. (1996). El Almudín de Valencia: memoria de una restauración [1992-1996]. FCC Medio Ambiente S.A. Valencia

[5]. AAVV (2012). Manual de usuario de calificación energética de edificios existentes CE^3X. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. GUIA IDAE. Madrid

[6]. ESPAÑA. Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. BOE núm. 219 de 12 de septiembre de 2013, pág. 67.137

[7]. AAVV. (2010). Catalogo de Elementos Constructivos del CTE. Instituto Eduardo Torroja. Madrid

[8]. STULZ. Ficha Técnica Equipos de Instalaciones de Calefacción y Refrigeración. Disponible en la web www.stulz.com/worldwide/es/ [Consulta junio 2014].

Con el apoyo/ Supported by

FECYT

Organizado por/Organized by

FUNDACIÓN DE Casas Históricas y Singulares

ARSCIVILIS

Colaboran / Collaborators

PREVIERES+RIS

cetenma

Financiado por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología - Ministerio de Economía y Competitividad